

LES ZONES COTONNIÈRES AFRICAINES

DYNAMIQUES ET DURABILITÉ

Actes du Colloque de Bamako
Novembre 2017

Sous la Direction de :

Mamy SOUMARÉ
Michel HAVARD



ÉVALUATION DE LA PRODUCTIVITÉ NUMÉRIQUE DU CHEPTEL DE BOVINS DANS LA ZONE COTONNIÈRE DU MALI

BA A., Zootechnicien, IER, Programme Bovins, BP : 16, Sikasso, Mali,

*LESNOFF M., Biométricien, CIRAD, UMR SELMET, F-34398 Montpellier,
France. matthieu.lesnoff@cirad.fr*

Auteur correspondant : Dr BA Alassane, baalassane_1981@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Depuis plus de 20 ans, la zone cotonnière du Mali (ZCM) a connu un développement de l'élevage de bovins. Ce développement a été réalisé grâce à une bonne intégration agriculture-élevage au sein des exploitations agricoles. Malgré le rôle croissant de l'élevage bovin dans la ZCM, les caractéristiques démographiques des troupeaux de bovins dans cette zone n'ont pas beaucoup été étudiées. Cette connaissance est pourtant importante pour raisonner l'avenir du bétail et soutenir le développement durable des systèmes agraires. Un premier diagnostic démographique du cheptel de bovins dans la ZCM a été réalisé en 2006 mais il ne s'appuyait que sur une année d'enquête. Dans cette étude, un dispositif d'enquêtes plus ambitieux a été mis en place entre 2014 et 2016 pour renforcer ce diagnostic. Au total, 180 troupeaux de bovins ont été enquêtés avec la méthode rétrospective « 12MO » permettant d'estimer les paramètres démographiques de cheptels à dire d'éleveurs. Ces paramètres ont été étudiés en fonction du sexe et de l'âge des animaux, et de la taille du troupeau. L'effet de la taille du troupeau a été très significatif sur la structure sexe-âge, avec une proportion de femelles et de vaches qui a augmenté avec la taille des troupeaux. Le taux moyen de mise bas moyen sur l'ensemble de la ZCM a été estimé à 0,53 mise bas/vache/an. Le taux de productivité numérique R (taux moyen d'animaux exploitables par an) a été estimé à 0,126-0,128/animal/an. L'analyse de sensibilité montre que le facteur de variation le plus influent a été la proportion de femelles dans le cheptel, suivi de près par le taux de mise bas. La méthode 12MO pourra être utilisée au Mali par les structures de recherche ou les services techniques pour mener des diagnostics rapides afin de guider les politiques de développement de l'élevage.

Mots clés : Bovins, démographie, méthode d'enquête 12MO

EVALUATION OF CATTLE HERDS NUMERICAL PRODUCTIVITY IN COTTON PRODUCTION ZONE OF MALI.

ABSTRACT

For about 20 years, cotton zone of Mali (ZCM) has experimented a development in cattle rearing. This development had been made due to a good integration of agriculture and livestock in farming families. Despite, the increase role of cattle rearing in the cotton zone of Mali, demographic characteristics of herd size in that zone have not been well studied. This is an important gap to understand the future of livestock rearing and support sustainable development of agrarian systems. A first demographic diagnostic of livestock has been conducted in cotton zone of Mali in 2006, but based only on one-year survey. This study was implemented between 2014 and 2016 in order to strengthen this diagnostic. An average 180 herd of cattle have been surveyed using retrospective method “12MO” which allows for estimating demographic parameters of cattle based on livestock keepers recall. The parameters analyzed were function of sex, age of cattle, and herd size. Herd size effect was significant on sex and age structure in proportion to the female and increased number of cows in the herd. In cotton zone of Mali, on average birth rate of cattle has been estimated to be around 0.53 per cow per year. The rate of numeric productivity R (average rate of cattle off-take per year) was estimated to be about 0.126 to 0.128 per animal per year. Sensitivity analysis shows that variation factor was influenced by the proportion of female in the herd, and birth rate. 12 MO method should be used by research centres and extension services for rapid diagnostics in order to guide agricultural policies on livestock.

Keywords : Cattle, demography, 12MO survey method

INTRODUCTION

Depuis plus de 20 ans, le sud du Mali a connu un développement significatif de l'élevage de bovins, simultanément avec celle de la culture du coton. Ce développement a été réalisé grâce à une bonne intégration de l'agriculture et de l'élevage au sein des exploitations. Les bovins ont fourni à l'agriculture de la force de travail (traction animale) et de la fumure organique (fertilisation des champs) permettant l'augmentation des rendements et l'extension des surfaces cultivées. Ces surfaces ont été multipliées par quatre depuis 1960 (Pradère, 2007). En contrepartie, l'élevage bovin a bénéficié d'un environnement moins fortement soumis aux risques climatiques et s'est rapidement développé dans les zones agricoles. Cependant, ces deux activités peuvent toutefois entrer en concurrence pour l'utilisation de la terre. D'une part, l'augmentation des superficies cultivées peut être préjudiciable aux meilleurs pâturages. D'autre part, l'augmentation du stock de bovins peut exacerber cette compétition pour la terre.

Malgré le rôle croissant de l'élevage bovin dans la zone cotonnière du Mali, les caractéristiques démographiques du cheptel (reproduction, mortalité, taux de croît) dans cette zone n'ont pas été beaucoup étudiées. Mieux connaître ces caractéristiques peut pourtant aider à soutenir le développement durable des systèmes agraires et raisonner l'avenir du bétail dans la zone. Dans son étude, Pradère (2007) avance que, sans modification des systèmes de production et l'installation de cultures fourragères compensatrices (qui tardent à être adoptées), les effectifs de bovins pourraient régresser. L'auteur réfute l'idée d'une thésaurisation des éleveurs qui pourrait engendrer une croissance du cheptel. Il insiste également sur ses faibles performances démographiques, dues à de faibles taux de reproduction et à des taux de mortalité élevés. Mais, du fait de manque de données, ces hypothèses ont été construites principalement à dire d'expert et d'après d'anciens résultats d'enquêtes reportés dans la littérature.

Face à cette situation, le projet PASE I a mené une enquête démographique en 2006 sur le cheptel de bovins dans la zone cotonnière. Cette enquête a permis un premier diagnostic démographique du cheptel de bovins dans la zone et a été valorisée académiquement par une thèse de doctorat et plusieurs publications (Ba, 2011; Ba *et al.*, 2011a, 2011b, 2009). L'une des limites de ce diagnostic est qu'il ne s'est appuyé que sur une année d'enquête, alors que les caractéristiques démographiques peuvent varier d'une année sur l'autre.

Dans le cadre du projet PASE II, il a été décidé de renforcer ce diagnostic en mettant en place un dispositif d'enquêtes démographiques plus ambitieux et prenant mieux en compte les variations interannuelles des caractéristiques démographiques. Cette étude présente les résultats des estimations de la productivité numérique du cheptel de bovins dans la zone cotonnière du Mali.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

SITES DE L'ÉTUDE

Le choix des 6 villages d'étude du projet PASE II (Figure 1) a été fait sur la base du découpage de la zone cotonnière en six régions agricoles homogènes (Soumaré *et al.*, 2008).

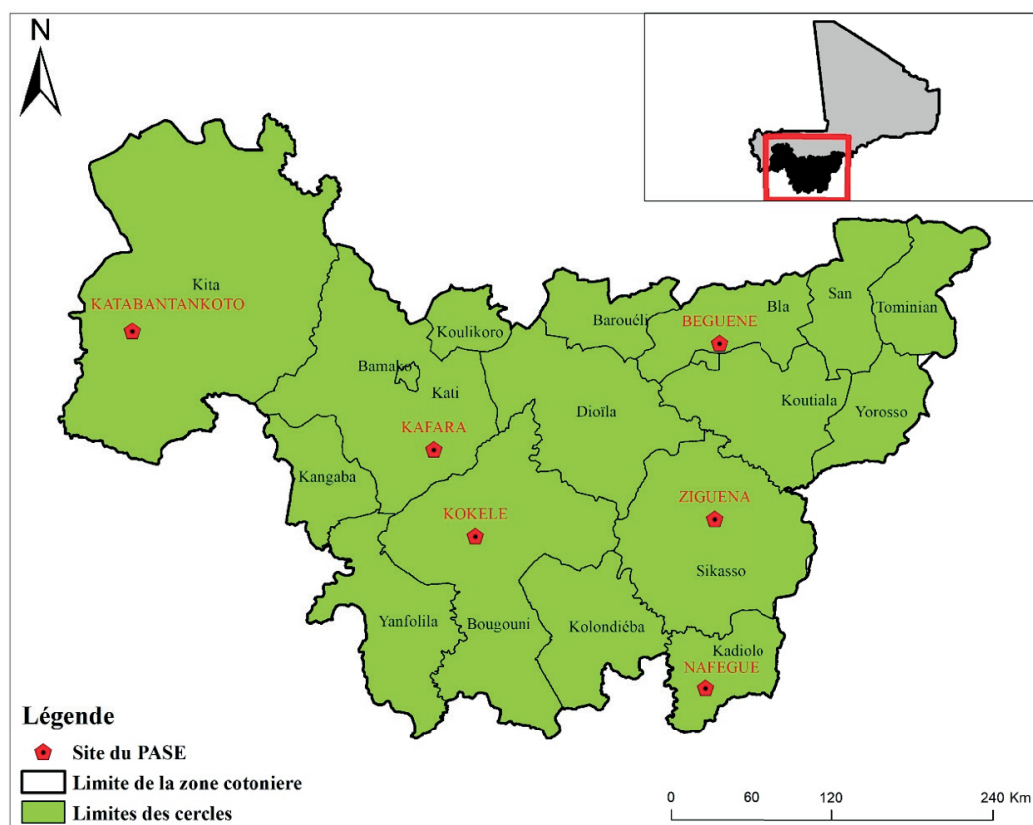


Figure 1 : Villages correspondant au site d'étude du projet PASE II

Dans ces six villages, 180 troupeaux ont été suivis. Ces troupeaux ont été choisis aléatoirement et proportionnellement au sein de 4 types d'exploitation agricoles établis auparavant par le projet PASE II (petite exploitation, moyenne exploitation, grande exploitation et agro-éleveur). Ces types d'exploitations agricoles avaient été définis selon une combinaison de la taille de l'exploitation, de la superficie agricole totale et de l'effectif des animaux.

Les trois enquêtes 12MO ont été réalisées en décembre 2014, 2015 et 2016. Le nombre total d'animaux enquêtés/an a varié de 2 554 bovins en 2014 à 2 758 têtes de bovins en 2016 (Tableau 1).

Tableau 1 : Effectifs de bovins enquêtés/village/an avec la méthode 12MO.

| Village | Année | | |
|----------------|-------|------|------|
| | 2014 | 2015 | 2016 |
| Benguéné | 495 | 523 | 499 |
| Kafara | 298 | 281 | 276 |
| Katabantankoto | 349 | 399 | 391 |
| Kokélé | 309 | 331 | 346 |
| Nafégué | 498 | 556 | 621 |
| Ziguéna | 605 | 668 | 652 |
| Total | 2554 | 2758 | 2785 |

MÉTHODE 12MO

La méthode 12MO (« méthode des 12 derniers mois ») a été élaborée par le Cirad en 2006 en collaboration avec le Ministère de l'Elevage du Niger (Lesnoff *et al.*, 2007) puis appliquée dans de nombreux pays (Lesnoff *et al.*, 2013). Elle a été choisie pour sa facilité à être mise en œuvre sur le terrain en comparaison à la méthode des suivis individuels d'animaux (Juanès *et al.*, 2017). Dans une exploitation agricole donnée, l'enquêteur fait d'abord l'inventaire individuel des animaux en décrivant leurs caractéristiques (sexe, âge, etc.), puis collecte, pour chaque femelle présente, des informations sur la reproduction survenue lors des 12 derniers mois. Ensuite, il collecte toutes les entrées et les sorties d'animaux survenues lors des 12 derniers mois. Dans le but de corriger la variabilité des taux démographiques des cheptels tropicaux d'une année sur l'autre, l'enquête a été répétée sur les mêmes troupeaux pendant trois ans de suite.

A partir des données collectées, les paramètres suivants ont été calculés :

Taux de productivité numérique

Approche directe

Le taux de productivité numérique annuelle représentant le potentiel de production du cheptel, c'est-à-dire ce que produit le cheptel dans l'année et peut être exploité sans impacter le stock (Lesnoff, 2014; Lesnoff *et al.*, 2014) a été calculé pour une année donnée par l'équation 1

$$R = \frac{B-D}{\bar{N}} = \frac{(O-I)+\Delta N}{\bar{N}} \text{ (Equation 1)}$$

où :

- **B** = effectif de naissances dans l'année,
- **D** = effectif de morts naturelles dans l'année,

- O = effectif d'animaux exploités dans l'année,
- I = effectif d'animaux importés dans l'année,
- ΔN = variation d'effectif d'animaux dans l'année,
- N^- = effectif moyen d'animaux dans l'année.

Approche indirecte

Une approche indirecte d'estimation du taux R a consisté en des simulations démographiques avec l'outil Dynmod (Lesnoff, 2013), interface MS Excel basée sur un modèle démographique simplifié. Le modèle décompose le cheptel par sexe et en trois classes d'âge (juvéniles, subadultes et adultes) dont l'utilisateur doit définir les durées. Les estimations du taux de productivité R ont été réalisées avec le module « Steady1 » de Dynmod simulant une année moyenne équilibrée (structure sexe-âge et taux de croît constants). Les taux R ont été estimés en supposant un taux de croît nul (0 %/an) puis un taux de croît de 3 %/an (taux officiel pour les statistiques officielles DNPIA).

Les méthodes statistiques utilisées pour estimer les taux démographiques naturels (taux de mise bas et de mortalité naturelle) ont été les modèles linéaires généralisés (Agresti, 2013; McCullagh and Nelder, 1989) et plus particulièrement les régressions de Poisson avec « offset » (Larson, 1984). L'approche est détaillée dans Ba and Lesnoff (2017). Les modèles statistiques d'estimation ont été sélectionnés à l'aide du critère d'Akaike (AIC) (Burnham and Anderson, 2004). Le problème éventuel de surdispersion dû à la corrélation intratroupeau a été pris en compte par des modèles de régression supposant une loi binomiale négative (Hilbe, 2011; Lawless, 1987).

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour identifier les paramètres les plus influents sur le taux R , et prédire les gammes de variation pouvant être attendues. Deux méthodes d'analyse de sensibilité, locale *vs* globale (Saltelli *et al.*, 2008, 2000), ont été réalisées. Dans la méthode locale, une estimation de référence est définie (ici les paramètres moyens estimés d'après les enquêtes), puis les résultats sont calculés en faisant varier chacun des paramètres (l'un après l'autre et indépendamment) autour de cette référence. Dans la méthode globale, les résultats sont calculés en faisant varier tous les paramètres en même temps, dans l'objectif de parcourir tout l'espace des paramètres. Les deux méthodes sont complémentaires. Dans la présente étude, trois facteurs de variation ont été considérés :

- le taux de mise bas ;
- les taux de mortalité naturelle (tous les sexes et les âges) ;
- la proportion de femelles dans le cheptel.

Dans l'analyse locale comme globale, une variation relative de ± 20 % de ces facteurs a été simulée.

RÉSULTATS/DISCUSSION

Structure sexe-âge

L'effet de la taille du troupeau sur la structure sexe-âge a été très significatif (test du Chi-2 entre les classes, valeur-p <0,001) avec une proportion de femelles et de vaches qui a augmenté avec la taille des troupeaux (Tableau 2). Par exemple, la proportion de femelles est passée de 40 % pour les troupeaux N+S (troupeaux à orientations multifonctionnelles) à 61 % pour les troupeaux L (grands troupeaux naisseurs). Ces résultats sont très proches de ceux de 2006 (Ba *et al.*, 2011b).

Sur l'ensemble du cheptel, la proportion de femelles a été assez faible (56 %), ce qui est une contrainte pour la production numérique (Lesnoff, 2015).

Tableau 2 : Structures sexe-âge du cheptel de bovins estimées par classe de taille de troupeaux et pour l'ensemble de la zone cotonnière d'après les enquêtes PASE II (2014-16)

| Sexe | Age ^(a) | Taille de troupeau ^(b) | | | | | |
|--------|--------------------|-----------------------------------|----|----|--|------|--|
| | | N+S | M | L | | Tot. | |
| F | J | 5 | 8 | 8 | | 7 | |
| | S | 13 | 18 | 16 | | 16 | |
| | A | 22 | 31 | 38 | | 33 | |
| M | J | 6 | 7 | 9 | | 8 | |
| | S | 15 | 17 | 15 | | 16 | |
| | A | 39 | 20 | 15 | | 21 | |
| Tot. F | | 40 | 57 | 61 | | 56 | |

J = juvéniles (0 à 1 an exact), S = sub-adultes (>1 à 4 ans exacts), A = adultes (> 4 ans exacts)

N+S = 0-5 vaches, M = 6-15 vaches, L = >15 vaches.

Taux démographiques naturels

Estimation du taux de mise bas

Les données de mise bas n'ont pas montré de surdispersion. Le facteur « classe de taille de troupeau » n'a pas été retenu par le critère AIC dans le modèle d'estimation. La présente étude n'a donc pas confirmé l'effet de la taille de troupeau sur le taux de mise bas qui avait été suggéré en 2006 (l'étude 2006 reportait notamment un taux plus élevé pour la catégorie S) (Ba *et al.*, 2011b). Le taux moyen de mise bas moyen sur l'ensemble de la zone cotonnière a été estimé à 0,53 mise bas/vache/an.

Tableau 3 : Taux de mise bas (/ 100 vaches-années) estimés par classe de taille de troupeaux dans la zone cotonnière d'après les enquêtes PASE II (2014-16).

| Année | Sexe | Age ^(a) | Taille de troupeau ^(b) | | | |
|---------|------|--------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| | | | N+S | M | L | Total |
| 2014-16 | F | A | 53 (2) ^(c) | 53 (2) | 53 (2) | 53 (2) |

(a) A = adultes (> 4 ans exacts).

(b) N+S = 0-5 vaches, M = 6-15 vaches, L = >15 vaches.

(c) Erreurs standards des estimations.

Estimation des taux de mortalité naturelle

Une forte surdispersion a été observée dans les données de mortalité. Le modèle négatif binomial d'AIC minimum retenu pour les estimations a été le suivant : « sexe + âge + classe de taille + sexe * âge ». Globalement, les mortalités ont légèrement diminué lorsque la taille des troupeaux augmentait, et ont été plus faibles pour les mâles que pour les femelles (Figure 2). En moyenne sur l'ensemble de la zone, les taux de mortalité ont été de l'ordre de 0,08-0,10/animal/an pour les juvéniles et $\leq 0,04$ /animal/an pour les sub-adultes et les adultes. Les résultats ont été très proches de ceux reportés en 2006 (Ba *et al.*, 2011b).

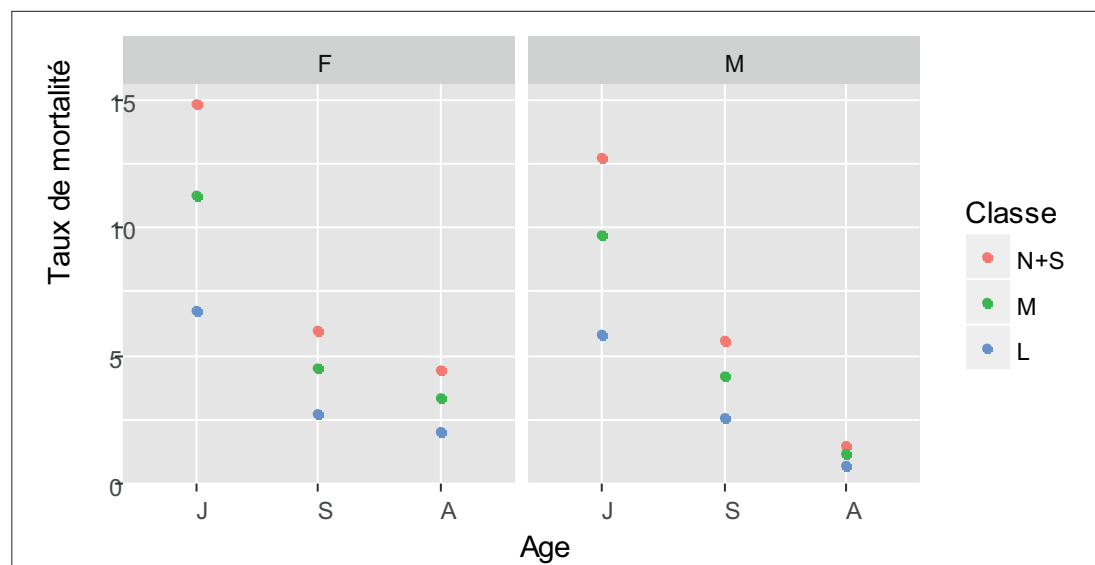


Figure 2 : Taux de mortalité naturelle (/ 100 animaux/an) estimés par sexe, classe d'âge et classe de taille de troupeaux dans la zone cotonnière d'après les enquêtes PASE II (2014-16). Sexe : F = femelles, M = mâles. Ages : J = juvéniles (0 à 1 an exact), S = sub-adultes (>1 à 4 ans exacts), A = adultes (> 4 ans exacts).

Taux de Productivité numérique

Estimation de la productivité numérique

Les estimations des taux R ont été très proches entre les approches directe et indirecte (Tableau 4). La plus grande différence est survenue pour la classe N+S : 0,067/animal/an vs 0,081/animal/an en supposant un taux de croît de 3 %. Dans l'approche indirecte, l'hypothèse du taux de croît (0 % *vs* 3 %) a eu également peu d'effet. Ces deux résultats suggèrent une bonne robustesse des méthodes utilisées.

Les estimations 2014-16 ont montré une augmentation du taux R avec la taille du troupeau beaucoup plus nette que ce qu'avait indiqué l'étude 2006 (Ba *et al.*, 2011b). Cette augmentation est directement liée à celle de la proportion de femelles dans les troupeaux. Sur l'ensemble de la zone cotonnière, le taux R a été estimé à 0,126-0,128/animal/an (Tableau 4). Cette estimation est très proche de la valeur moyenne reportée par Lesnoff (2015) pour les bovins des zones sub-sahariennes arides et semi-arides.

Tableau 4 : Taux de productivité numérique R (/100 animaux/an) estimés par classe de taille de troupeaux dans la zone cotonnière d'après les enquêtes PASE II (2014-16).

| Année | Approche ^(a) | Taux de croît (%) | Taille de troupeau ^(b) | | | | Total |
|---------|-------------------------|-------------------|-----------------------------------|------|------|--|-------|
| | | | N+S | M | L | | |
| 2014-16 | Directe (12MO) | – | 6,7 | 11,6 | 15,1 | | 12,8 |
| | Indirecte (modèle) | 0 | 6,6 | 11,7 | 16,3 | | 12,7 |
| | Indirecte (modèle) | 3 | 8,1 | 12,1 | 15,8 | | 12,6 |

(a) 12MO = méthode directe d'après les données 12MO, Modèle = Utilisation du modèle démographique selon une hypothèse de taux de croît annuel.

(b) N+S = 0-5 vaches, M = 6-15 vaches, L = >15 vaches.

Analyse de sensibilité

Dans la présente étude, la référence pour les analyses de sensibilité du taux R a été définie par l'estimation obtenue en supposant un taux de croît de 0 % ($R = 0,127/\text{animal/an}$). Dans l'analyse locale, le facteur de variation le plus influent a été la proportion de femelles dans le cheptel, suivi de près par le taux de mise bas (Figure 3). Par exemple, le taux R est passé de 0,127/animal/an à 0,149/animal/an et à 0,144/animal/an lorsque la proportion de femelles et le taux de mise bas ont été respectivement augmentés de +20 %. Le taux de mortalité naturelle a eu moins d'effet et ne semble donc pas être un facteur de variation important pour la zone cotonnière. Ceci avait déjà été suggéré dans l'étude 2006 (Ba *et al.*, 2011b).

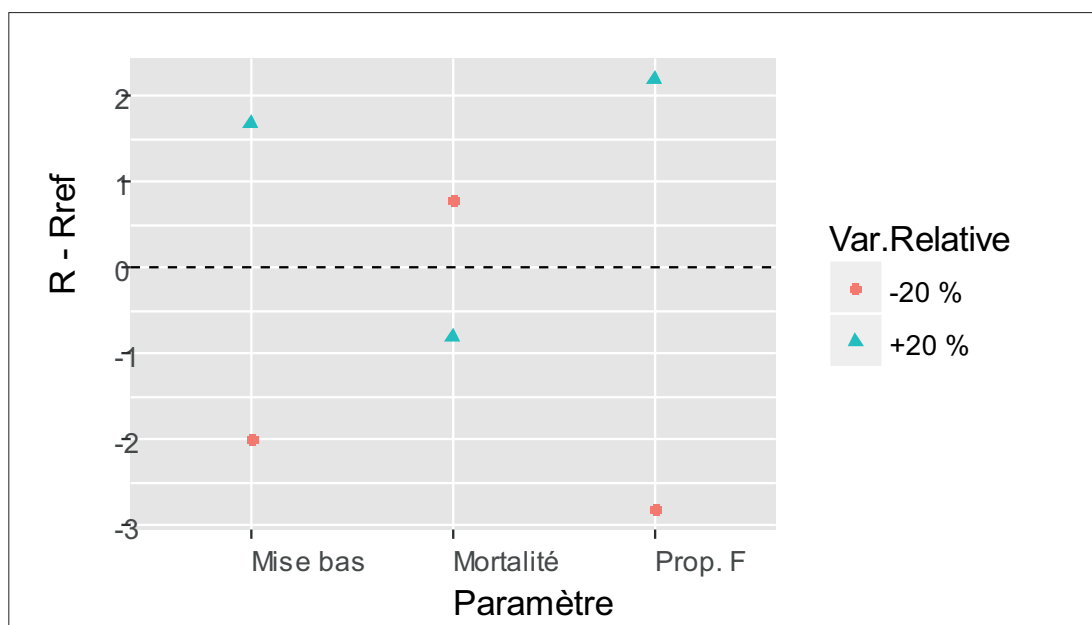


Figure 3 : Résultats de l'analyse de sensibilité locale sur le taux de productivité numérique R (/ 100 animaux-années) dans la zone cotonnière. R_{ref} = valeur R de référence obtenue d'après le modèle démographique en supposant un taux de croît de 0 % = 0.127/ animal-année.

L'analyse globale a confirmé cette tendance (Tableau 5). Une analyse de variance (« Anova ») à 3 facteurs du plan complet de l'analyse globale a montré que le facteur proportion de femelles a représenté 63 % de la variance du taux R , le facteur taux de mise bas 34 %, et le facteur mortalité 3 %.

Tableau 5 : Résultats de l'analyse de sensibilité globale sur le taux de productivité numérique R (/ 100 animaux-années) dans la zone cotonnière.

| Facteur de variation | | | R | $R - R_{ref}^{(b)}$ |
|----------------------|-------------------|------------------------|------|---------------------|
| Taux de mise bas | Taux de mortalité | Proportion de femelles | | |
| -20% ^(a) | -20% | -20% | 8,7 | -4,0 |
| -20% | +20% | -20% | 7,4 | -5,3 |
| +20% | -20% | -20% | 12,2 | -0,5 |
| +20% | +20% | -20% | 10,7 | -2,0 |
| -20% | -20% | +20% | 13,6 | 0,9 |
| -20% | +20% | +20% | 12,0 | -0,7 |
| +20% | -20% | +20% | 17,6 | 4,9 |
| +20% | +20% | +20% | 16,8 | 4,1 |

- (a) Variation relative du facteur de variation par rapport à sa valeur de référence.
- (b) R_{ref} = valeur R de référence obtenue d'après le modèle démographique en supposant un taux de croît de 0 % = 0,127/animal-année.

Taux démographiques naturels et productivité numérique

Le taux de mise bas moyen estimé à partir de nos enquêtes répétées 12MO de 2014 à 2016 ont été comparables aux valeurs rapportées dans la littérature pour des troupeaux bovins en milieu sahélien et soudanien. Par exemple, Bosma et al. (1999) et Bengaly et al. (1993) dans la même zone ont trouvé un taux de 0,51/vache/an. Dans notre étude, le taux global a été de 0,53/vache/an. Par contre, ce taux est inférieur à ceux rapportés par Otte et Chilonda (2002) en Afrique sub-saharienne, de l'ordre de 0,58/vache/an pour les systèmes mixtes en zone semi-aride.

Les taux de mortalité naturels estimés dans notre étude (de 0,08-0,10/animal/an pour les juvéniles et $\leq 0,04$ /animal/an pour les sub-adultes et les adultes.) ont été peu élevés par rapport aux valeurs rapportées dans la littérature au Mali (Bosma *et al.*, 1992; Diawara *et al.*, 2017; Godet, 1991; Pradère and Sidibe, 1989). Ces taux peu élevés pourraient s'expliquer par des conditions sanitaires maîtrisées dans la zone cotonnière du Mali dues à la libéralisation de ce secteur et la formation des auxiliaires vétérinaires dans les coins les plus reculés de la zone.

Les taux de productivité R calculés par différentes méthodes ont varié de 0,7 à 0,16/animal/an selon la taille des troupeaux, avec une moyenne de 0,13/animal/an. Ce taux est comparable avec celui reporté par Diawara et al. (2017) dans la zone sahélienne à Hombori ($>0,12$ /animal/an).

La présente étude a permis de confirmer globalement la première évaluation de la productivité numérique réalisée en 2006 (malgré quelques différences, en particulier au niveau du taux de mise bas). Les deux avantages principaux du protocole mis en place dans le PASE II ont été la répétition des enquêtes sur 3 années consécutives et sur les mêmes troupeaux, et de pouvoir enquêter tous les types de troupeaux, y compris ceux qui effectuaient des transhumances saisonnières (les périodes d'enquête ont été choisies en fonction de leur présence sur les terroirs), ce qui n'avait pu être fait avec les protocoles du PASE I en 2006.

Quelles améliorations possibles pour le cheptel bovin de la zone cotonnière du Mali ?

De l'analyse de sensibilité, on retient deux leviers potentiels pour améliorer la productivité numérique dans la zone cotonnière. Le premier levier consiste à augmenter la proportion de femelles dans les troupeaux, qui a été globalement faible dans la zone. Une telle augmentation nécessiterait des changements des pratiques d'ex-

exploitation des animaux par les éleveurs en augmentant la vente des mâles tout en conservant davantage de femelles. Le second levier est d'augmenter le taux de mise bas des vaches. Ceci nécessiterait d'améliorer la couverture sanitaire et l'alimentation des vaches à l'aide de pratiques de complémentation adaptées dont les modalités (augmentations des intrants et/ou des ressources fourragères) resteraient à définir.

Une des limites de la présente étude est qu'elle s'est focalisée sur la productivité numérique du cheptel de bovins alors que, dans la zone cotonnière, cet élevage bovin est multifonctionnel. D'autres études devront prendre en compte les autres composantes de la production animale comme la viande, le lait, la traction animale et la fumure.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGRESTI A., 2013. *Categorical data analysis*, 3rd ed. Wiley, New York, NY, USA.
- BA A., 2011. *Exploitation du cheptel bovin dans la zone cotonnière au Mali-Sud* (Thèse de Doctorat). Montpellier Sup-Agro, Montpellier, France.
- BA A., LESNOFF M., 2017. *Rapport Final Activité « Démographie des bovins ». Projet d'Appui à l'Amélioration de la Gouvernance de la Filière Coton dans sa nouvelle Configuration et à la Productivité des Systèmes d'Exploitations en Zones Cotonnières du Mali (PASE II). Volet Recherche – Développement.* IER, CIRAD, Bamako, Mali.
- BA A., LESNOFF M., COULIBALY D., POCCARD-CHAPUIS R., MOULIN C.-H., 2011A. *Contribution d'un modèle démographique à l'évaluation de la productivité numérique du cheptel.* Presented at the Partenariat, Modélisation, Expérimentation : Quelles leçons pour la conception de l'innovation & l'intensification écologique ?, CIRAD, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 15-17 novembre 2011, p. 13.
- BA A., LESNOFF M., MOULIN C.H., 2011B. *Demographic dynamics and off-take of cattle herds in south Mali.* *Trop. Anim. Health Prod.* 43, 1101–1109. doi:10.1007/s11250-011-9808-2
- BA A., LESNOFF M., POCCARD-CHAPUIS R., CORNLAUX C., MOULIN C.H., 2009. *Evaluation du potentiel exploitable du cheptel bovin dans la zone cotonnière du Mali* (Poster). Presented at the 16e Journées 3R, Paris, France.
- BOSMA R., BOS M., KANTÉ S., KÉBÉ D., QUAK W., 1999. *The promising impact of ley introduction and herd expansion on soil organic matter content in southern Mali.* *Agric. Syst.* 62, 1–15. doi:10.1016/S0308-521X(99)00038-4
- BOSMA R.H., MEURS C.B.H., BLURALY K., BERKMOES W.M.L., 1992. *La productivité des ruminants dans les exploitations agricoles de la zone de Touminian.* DRSPR, Sikasso, Mali.
- BURNHAM K.P., ANDERSON D.R., 2004. *Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection.* *Sociol. Methods Res.* 33, 261–304. doi:10.1177/0049124104268644
- DLAWARA M.O., HIERNAUX P., MOUGIN E., GANGNERON F., SOUMAGUEL N., 2017. *Viabilité de l'élevage pastoral au Sahel : étude de quelques paramètres démographiques des élevages de Hombori (Mali).* *Cah. Agric.* 26, 45006. doi:10.1051/cagri/2017039
- GODET G., 1991. *Ressources alimentaires et productivité numérique en élevage bovin sédentaire : suivi pastoral dans deux villages au Sud du Mali.* Direction Nationale de l'Élevage, Bamako, Mali.
- HILBE J.M., 2011. *Negative binomial regression*, 2nd ed. ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK ; New York.
- JUANÈS X., LESNOFF M., MESSAD S., JULIEN L., CAPRON J.-M., LANCELOT R., 2017.

- LASER2 – A database for animal-based herd monitoring in tropical livestock husbandry systems – Technical document. CIRAD, Montpellier, France.*
- LARSON M.G., 1984. Covariate analysis of competing risks data with log-linear models. *Biometrics* 40, 459–469.
- LAWLESS J.F., 1987. Negative binomial and mixed Poisson regression. *Can. J. Stat.* 15, 209–225.
- LESNOFF M., 2015. Uncertainty analysis of the productivity of cattle populations in tropical drylands. *Animal* 9, 1888–1896. doi:10.1017/S175173111500124X
- Lesnoff M., 2014. *Simulating dynamics and productions of tropical livestock populations – mmage: A R package for discrete time matrix models. CIRAD (French Agricultural Research Centre for International Development), Montpellier, France.*
- LESNOFF M., 2013. *DYNMOD: A spreadsheet interface for demographic projections of tropical livestock populations - User's Manual - v3. CIRAD (French Agricultural Research Centre for International Development). <http://livtools.cirad.fr>, Montpellier, France.*
- LESNOFF M., LANCELOT R., MOULIN C.-H., MESSAD S., JUANÈS X., SAHUT C., 2014. *Calculation of demographic parameters in tropical livestock herds: a discrete time approach with laser animal-based monitoring data. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-017-9026-0*
- LESNOFF M., MESSAD S., JUANÈS X., 2013. *12MO: A cross-sectional retrospective method for estimating livestock demographic parameters in tropical small-holder farming systems - version 2. CIRAD (French Agricultural Research Centre for International Development), Montpellier, France.*
- LESNOFF M., SALEY M., ADAMOU K., N'DJAFEA H., 2007. *Enquête démographique 2006 sur le cheptel domestique au Niger : sites du Fakara, de Gabi et de Zermou. Rapport préliminaire. Projet "Amélioration des conditions de vie des producteurs sahéliens à travers la mise en œuvre d'outils bioéconomiques d'aide à la décision" (PAD), ICRI-SAT-Niamey, DGCD-Belgique. ILRI (International Livestock Research Institute).*
- MCCULLAGH P., NELDER J.A., 1989. *Generalized linear models, 2nd ed. Chapman and Hall, New York, NY, USA.*
- OTTE M.J., CHILONDA P., 2002. *Cattle and small Ruminant production systems in sub-Saharan*

Africa - A systematic review. FAO, Rome, Italy.

PRADÈRE J.F., 2007. *Performances et contraintes de l'élevage au Mali. Projet d'Appui à l'Agriculture Africaine (P3A) au Mali. MAE (Ministère des Affaires Etrangères), Paris, France.*

PRADÈRE J.F., SIDIBE S., 1989. *Etude du cheptel bovin malien. Evolution, structure des troupeaux, productivité. Projet d'Appui à l'Agriculture Africaine (P3A) au Mali. Cellule de suivi-évaluation, Direction Nationale de l'Elevage, Bamako, Mali.*

SALTELLI A., CHANK, SCOTTE.M. (EDS.), 2000. *Sensitivity analysis. Wiley, New York, NY, USA.*

SALTELLI A., RATTO M., ANDRES T., CAMPOLONGO F., CARIBONI J., GATELLI D., SAISANA M., TARANTOLA S., 2008. *Global sensitivity analysis: the primer. John Wiley, Chichester, England.*

SOUMARÉ M., BAZILE D., DIALLO K., VAKSMANN M., KOURESSY M., 2008. *Diversité agroécosytémique et devenir des céréales traditionnelles au sud du Mali. Cah. Agric. 17, 79–85.*